農業長期生態研究回顧與展望

蔡正國[1]、陳琦玲[1*]、張仁育[1]、石憲宗[1]、楊藹華[2]、王瑞章[2]、廖大經[3]、張哲瑋[3]、柯昱成[3]、林儒宏[4]、張素貞[5]、任心怡[5]、莊國鴻[6]、廖崇億[7]、郭雅紋[7]、昌佳致[8]、潘佳辰[9]、陳泰元[10]、林立[11]、張繼中[12]、許自研[13]、林大利[14]、謝玉貞[15]

1 行政院農委會農業試驗所。
2 行政院農委會臺南區農業改良場雲林分場。
3 行政院農委會農業試驗所嘉義分所。
4 行政院農委會茶業農業改良場。
5 行政院農委會苗栗區農業改良場。
6 行政院農委會桃園區農業改良場 。
7 行政院農委會臺中區農業改良場。
8 行政院農委會臺中區農業改良場埔里分場。
9 行政院農委會臺南區農業改良場。
10 行政院農委會高雄區農業改良場。
11 行政院農委會花蓮區農業改良場、
12 行政院農委會臺東區農業改良場。
13 行政院農委會水產養殖試驗所東港生技研究中心。
14 行政院農委會特有生物研究保育中心。
15 行政院農委會農業藥物毒物試驗所。
*聯繫人 e-mail: Chiling@tari.gov.tw

摘要

臺灣自 1992 年即展開自然生態系之長期生態研究(Long-Term Ecological Research, LTER)，農業生態系之研究則於 2006 年開始由本所與臺南區、苗栗區農業改良場及茶業改良場等單位，陸續在台灣中部成立 6 處研究站。長期生態研究係藉長期跨領域之多時間與空間資料收集，了解生態系之結構、組成、交互作用等。計畫總目標在於藉長期觀測，了解環境變遷對生態系服務功能之影響，並探討符合生態觀念之農耕操作能否減少亞熱帶之主要作物系統化學物質之投入。為能展現計畫之成果，每六年設定一個短期目標，第一期 (2006-2011) 探討不同農法對不同耕作制度生態系生產力維持、生物多樣性之影響及其對環境之衝擊，並探求較佳之農業管理模式；第二期(2012-2017)之目標為長期觀測氣候變遷對農作物生產、害蟲與天敵族群生態、罹病度及雜草變遷之影響，並研擬可能的調適策略。第三期 (2018-2023)之目標為從供給、支持、調節與文化等市場與非市場方面盤點和評估農業生態系多功能價值，以供研擬農業環境給付措施之參考。為能實現資料再利用、延續資料生命與提昇資料價值，本研究所獲得之研究數據均以 Morpho 軟體建置 EML (Ecological Metadata Language)文件，並存入 Metacat 生態資料庫，以利資訊之交流，並藉此參與多項國際合作計畫，提升研究能量與品質，亦與國際接軌，增加台灣能見度。自 2020 年起本所與水試所與各區改良場在全台擴增 10 處監測站，包括 2 處漁業站和 8 處農業站，分別進行養殖水質與農村產區生態監測，觀察不同農法與氣候變遷對其生態之影響，以進行蟲害與肥培之精準管理，並嘗試藉農漁村社群參與式研究，加強生產者對生態與環境之重視與實踐，降低農業生產對生態系服務功能之衝擊。目前台灣農業 LTER 仍偏重在自然科學之研究，將逐漸加入社會科學之研究，第四期 (2024-2019)之目標擬定為運用資訊科技導入社會

經濟驅動力，復育農業生態系統、推動自然正成長，將進行長期生態與社會研究 (Long-Term Ecological and Social Research, LTSER)，探討自然生態環境與社群之交互作用。

關鍵字：農業生態系、長期生態研究、亞熱帶、服務功能

緣起

國際長期生態研究網 (International Long-Term Ecological Research Network, ILTER) 自 1993 年成立以來，持續強調在同一研究地點，長時間且持續收集生態學資料，希望能涵蓋生態系於各種時間尺度下的變化。目前有 40 個國家參與，並在全球陸續建立 700 處長期生態研究站。

美國國科會(NSF)自 1980 年即開始資助長期生態研究(Long-Term Ecological Research, LTER)，迄今已有 40 餘年之經驗。其中在溫帶密西根州立大學 Kellogg Biological Station (KBS)為美國 26 個長期生態研究站中，唯一之農業站。該研究站是以糧食作物為主要栽培對象，並特別以農業地景之生物多樣性為研究主題，特別是以多樣化之功能性與生態系統功能之相關研究為研究主軸。已提供二百餘位研究人員和研究生用此研究站題材完成學位。KBS 研究站農業生態系建立控制管理實驗樣區，以 7 種實驗設計×7 重複樣區，每個樣區 100×100 m。期研究成果極為系統且多樣化，以昆蟲的棲移研究為例，檢視從單一植物到多樣棲地內，人為操作與干擾所造成時間與空間上之變化與多樣的植物組成狀況下昆蟲相的變化等。

國立科學委員會與大學、研究機構、國家公園系統和其他相關機構合作，於 1992 年創立了臺灣生態研究網絡(Taiwan Ecological Research Network, TERN)，設立了五個自然生態系的長期生態研究站。其主要目標是收集臺灣主要生態系統生產力、多樣性、結構、功能/過程和穩定性的基礎數據，瞭解長期的生態現象和主導生態系統，進一步建立生態模型，以用於預測和緩解當地、區域和全球水平的環境干擾。自 2000 年起，長期推展我國長期生態研究的學者金恒鑣博士邀集農業與生態研究人員開始研議規劃成立農業生態系之長期研究站。藉由與美國 KBS 的互訪，並在多方多次研商下，由農試所、林試所、臺南場、臺灣大學及中興大學自 2006 年起啟動臺灣長期農業生態研究。

農業長期生態研究網

LTER 研究站設置

經過多次研商會議決議，在考慮試驗地現地的環境、面積、未來可能的變更、交通及住宿等條件下，陸續於南投縣、雲林縣、嘉義縣市與苗栗縣建立 6 個核心監測站，關注水稻、亞熱帶果樹(荔枝)與茶作為主體的核心觀測站，然而因核心監測研究站集中於中部低海拔平原、丘陵水田、旱作及果園環境，故於 2020 年起農試所、水試所與各區改良場陸續於全台增設 10 個農業衛星監測站、2 個漁業衛星監測站與 1 個農業試驗候選站，研究監測站位置如圖 1 所示。

試驗處理說明

2006 年建立之核心站，除了名間茶園與芳苑水稻田是於農友田區間進行監測，分別有慣行農耕(CF)與有機農耕(Organic Farming, OF)之農法監測，其餘則是在農試所與台南場試驗農場進行慣行農耕(Conventional Farming, CF)與永續農耕(Sustainable-driven Farming, SF)之試驗，慣行農耕之肥料用量為改良場所之推薦量，農藥防治則按植保手冊進行防治；永續農耕之肥料用量將依據農地養份循環及土壤肥力狀態而定，約為推薦量的 80%，並依本研究試驗結果視需要調整施肥量。農藥則僅在病蟲害發生嚴重，可能造成無產量之虞時，才進行施藥防治。嘉義分所的荔枝品種保存園則為自然農法，除了除草，幾乎沒有投入。

在農業衛星站部份，均於農友田區間進行監測，分別有慣行農耕(CF)與有機農耕(Organic Farming, OF)。同時結合長期性的科學調查與生態監控模式建立，評估農村地區農業經營之人為擾動對生態產生之影響，或是相關友善環境農業活動對生態服務之貢獻，兼顧農業與生態之永續發展。

圖 1. 臺灣農業長期社會生態系研究監測站位置分佈圖

監測項目

記錄與監測項目如下:

1. 栽培管理資料：記錄所有生產履歷，包括所有資材的使用等。
2. 環境資料：
   (1)氣象：每日最高溫、最低溫、平均溫、風向、風速、日射量、日照時數、雨量及土層溫度等。
   (2)土壤：各處理收穫後進行土壤化學性質調查，包括 pH、OM、Total N、Avail P、Avail K 等，另每五年進行一次土壤物理性質調查。
   (3)植體：各處理收穫後進行植體採樣與分析，分析項目包括 N、P、K 等。
   (4)生態系參數調查：包括各處理水分動態、碳素動態、氮素動態、養分收之、重要蟲害與天敵、重要病蟲害、土壤微生物質量及種類與產量等調查。
3. 物種調查：(2020 年後新增項目)
   (1)昆蟲相：以掃網法與黃色粘蟲紙調查各試驗站昆蟲相。
   (2)蚯蚓：於試驗站進行表土層蚯蚓相調查。
   (3)以穿越線與紅外線攝影機等方法進行兩棲類、鳥類與爬蟲動物調查。脊椎動物類群：

(4)經濟資料：包含調查產量、價格與勞力支出等。

無線感測網路與資料管理

無線感測網路

長期研究需要穩定、可長期維運的方法進行資料蒐集與管理，2009 年起農業試驗所研究團隊著手建立無線感測器網路 (Wireless Sensors Network, WSN) (詹等，2012)，現今可透過 WiFi、長距離廣域網路技術 (Long-range wide area network, LoRaWAN)與窄域物聯網(Narrow band Internet of Things, NB-IoT)串聯資料傳輸。近年研究團隊已完成開發透過 NB-IoT，由 MQTT (Message queuing telemetry transport)通訊協定將感測資料傳輸至農業試驗所伺服器，並經 Node-RED 可視化程式平台將資料同步寫入 MariaDB 資料庫與 MetaCat 資料，後者亦已完成自動化監測資料更新功能，有助於監測資料保存與分享。並將 Agri-LTER 網頁、WSN 系統及 Morpho-Metacat 資料庫整合為單一入口網站之亞熱帶農業生態系資訊分享平台，陸續完成 Metacat 資料庫 Metadata 英文化與資料勘誤，以提供資訊服務加速國際與國內合作發展。

在感測器的研發方面，開發價格相對低廉之「新式滲漏計」、「旱田專用新式滲漏計」、「新式土壤傳感系統」與「新式水質傳感系統」之開發，可取代現階段昂貴之進口儀器，並提高監測密度與減少人工收集之成本。(Chan, *et al*., 2017) 另亦開發「斜紋夜蛾監測與警示系統」，透過 IoT 方式即時將田間害蟲斜紋夜蛾資訊回傳並於蟲口數爆發時發出警示，除了可降低其危害造成之農損外，並可降低用藥頻率減少農民支出。

資料管理

本研究以美國生物複雜性知識網絡(Knowledge Network for Biocomplexity, KNB)團隊發展的學術資料倉儲管理系統 MetaCat 儲存研究數據 (https://lter.tari.gov.tw/metacatui)。Metacat 以用戶端介面為 morpho 或 MetacatUI，可適用於各種檔案類型資料管理；資料上傳時，則以認證系統(LDAP)和貢獻者開源辨識碼(Open Researcher and Contributor ID, ORCID)識別研究人員與貢獻者身分。除倉儲外 Metacat 亦提供便捷的介面，供外部使用者檢索、下載分享資料，使資料可更廣泛地被加值應用。

本計畫研究產生之數據以在生態學研究領域發展出的生態元數據語言(Ecological Metadata Language, EML)格式(Mitchener *et al*., 1997)作為描述的標準，EML 格式是國際長期生態研究(ILTER)適用並支持的詮釋資料標準，由一系列 XML 檔案組成在可被模組化或擴展的檔案應用下記錄數據，而每個 EML 模組可用於描述不同型態的數據 (Peterseil *et al*., 2018)。數據依 EML 標準建立完成後，可依探索式資料分析(exploratory data analysis)理論以 R 或 Python 進行品質控制(quality control)及保證(quality assurance)檢查，並將使用的程式碼與 EML 文件合併作為進一步分析的基礎。

在 2020 年舉辦為期兩日之農業生態系長期生態研究研討會，包括生態文件建置與檢核研習會與長期研究成果發表會，透過邀請美國維吉尼亞大學的 John Porter 博士與新墨西哥大學的 Kristin Vanderbilt 博士等 2 位資料庫管理專家進行視訊演講，分享美國長期生態研究之資料管理經驗，供我國參考。

農業生態系資訊分享平台已與特有生物中心建立之「臺灣生物多樣性網絡」及「臺灣野生植物資料庫」等，與南韓生態研究所主導之 Eco-Bank 計畫組成國際合作團隊，並於 2019 年由農業試驗所、特有生物研究保育中心與南韓生態研究所簽署合作備忘錄，期可透過備忘錄將生態資訊共享給國際科學家，提高臺灣在生態研究之能見度，

同時發展全球尺度的研究，推廣臺灣長期生態研究的應用與整合成果，深化多方夥伴關係，並與國際團隊接軌。

針對資料庫間之串聯，目前已開發部分開放式介接程式(Open Application Program Interface, Open API)，提供外部介接 MariaDB 資料庫資料；MetaCat 資料庫已成為韓國國立生態研究所 EcoBank 計畫東亞聯網資料，正朝 DataONE 數據網路節點(node)目標持續努力中。

核心站各階段成果

第一階段

第一階段目標為「了解農業生態系生產與生物多樣性影響因子驅動力」，旨在探討不同農法對不同耕作制度生態系生產力維持、生物多樣性之影響及其對環境之衝擊，並探求較佳之農業管理模式。

依據長期試驗資料顯示，永續農耕區水稻田合理減少肥料投入及農藥施用下，可獲得兼具維持相當於慣行農耕的產量及產值、控制病蟲害之發生、天敵昆蟲動態與地下水氮淋洗量等效益，肥料利用效率明顯高於慣行農耕區，且產量較穩定 (圖 2)。然而旱田則需較多農藥投入才能維持慣行農耕之產量；荔枝園之試驗結果顯示自然生長園之生物多樣性、作物病害、天敵昆蟲與害蟲族群及氮淋洗量皆顯著高於慣行農耕區，然而產量卻幾近於零；有機茶園在降低投入後，生物多樣性明顯提升，地下水氮淋洗量則明顯下降，然有機茶園之茶菁產量約僅慣行區之 30%，雖可維持相對高單價，然而氣候適宜且無嚴重病蟲害時，有機茶園僅為慣行茶園之 7 成收益; 在氣候變動日益增加下，導致產值不穩定，產量有逐年下降之趨勢，總產值亦隨之逐年下滑(圖 3)。綜合上述試驗結果顯示，一年生農藝作物的永續農耕合理減少投入可維持與慣行農耕相當之產量與產值，然並未提升生物多樣性與減低對環境之衝擊等；而多年生作物，如荔枝與茶，永續農耕可明顯提升生物多樣性，並減低對環境之衝擊，但產量與產值仍遠不及慣行農耕，此結果與溫帶地區試驗所獲得之「增加生物多樣性有助於作物生產」之結論(Tilman *et al.*, 1996; Picasso *et al.*, 2008; Hadgu *et al.*, 2009)有所差異。

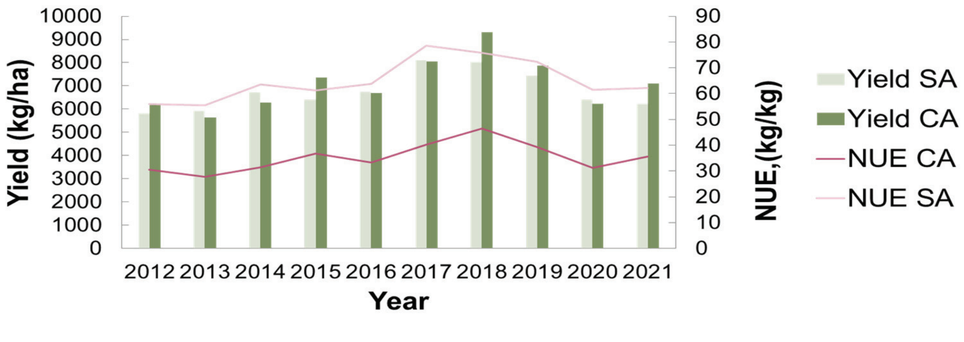

圖 2. 溪口與斗南慣行與永續處理水稻氮肥利用效率與產量變化

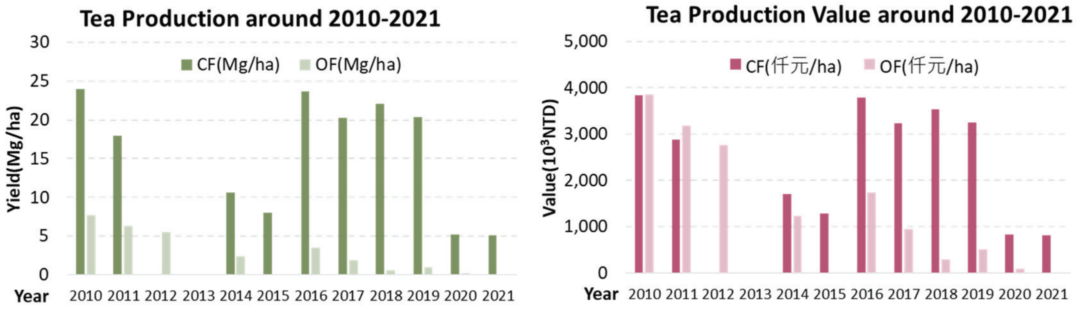

圖 3. 名間慣行與有機茶園產量與產值變化

根據長期試驗中不同肥料處理資料分析，顯示在砂質壤土的試驗區，最佳的氮肥施用量約為每公頃 160 公斤。然而，在坋質壤土的試驗區，最佳氮肥施用量為每公頃超過 240 公斤，產量也預期可以超過 8.5 噸以上 (圖 4)。

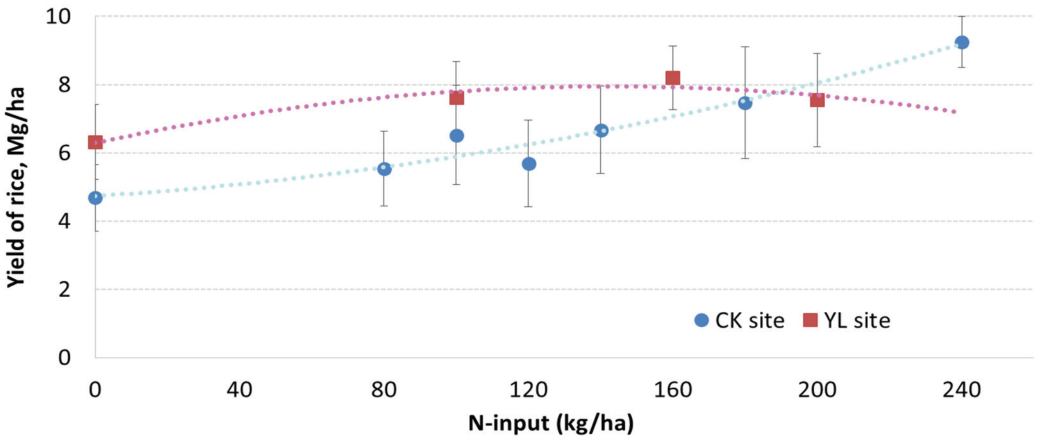

圖 4. 長期觀測溪口農場與雲林分場氮投入量與水稻產量之相關性分析

另運用臺灣農業長期生態研究 2017-2020 年 6 個核心站之植物調查資料，測試各生育地調查之最適季節與最少努力量，透過集群分析方法將植物組成相似之生育地進行分群，再依分群結果繪製不同季節各生育地之物種面積曲線。結果顯示，生育地可細分為農田、田埂、果園與茶園等 4 種，透過集群分析後各試驗站與其所包含之生育地類型可分為 5 種不同之植物組成類群，亦即農田類群、田埂類群、嘉義果園類群、古坑果園類群與茶園類群，在人力物力充裕之情形下，可於全年四季各生育地各進行 18 個 1m*1m 隨機小樣方植物調查，若人力物力受限制，農田生育地可優先選擇秋季(9-11 月)進行 10 個小樣方植物調查，其它生育地則選擇春季(3-5 月)進行，調查小樣方個數分別為田埂 10 個、果園 17 個與茶園 9 個，則可評估當地之植物相，以提供農田生物多樣性保育工作之推動依據。(Tsai, *et al*., 2022)

第二階段

第二階段目標為「農業生態系在氣候變遷趨勢下的緩解與調適」，旨在長期觀測氣候變遷對農作物生產、害蟲與天敵族群生態、罹病度及雜草變遷之影響，並研擬可

能的調適策略。

依雲林分場自 1988 年之長期觀測資料顯示，氣溫呈現增溫之現象，月均溫變化可看出高溫大於 30 度之日數逐漸增加，低溫小於 15 度之日數雖無差異，但卻愈趨集中，而部份年度雨量分佈改變，則影響農業操作；水稻葉稻熱病在慣行與永續農耕兩處理間的發病率無顯著差異，其發病率與降雨量及相對濕度呈現正相關，顯示氣候波動對水稻真菌性病害發病率的影響遠超過耕作制度 (Chiu *et al*., 2022)；荔枝露疫病及酸腐病之發生與雨量有密切關係；在指標昆蟲方面，影響溪口農場與雲林分場之優勢天敵昆蟲六條瓢蟲族群動態之氣象因子主要為降雨；在雜草相變遷部份，年度間雜草相消長呈現 W 型波動，且水旱輪作及高投入有較高之雜草豐富度；另優勢雜草之密度隨溫度上升而增加。

慣行農業和永續農法對稻瘟病發病率的影響相似。只有在相對濕度較高的情況下，溫度才會對發病率產生正向影響。降雨對疾病發病率有積極影響，直到降雨量達到最佳水平。永續農法通過減少化肥施用和其他可持續養分管理，對疾病發病率的影響與慣行農法相似。這表明天氣波動可能超過耕作系統對稻田真菌病發病率的影響。

另針對荔枝產量受氣候變遷影響，整理歷年統計資料顯示，荔枝產量受年度極端氣候影響，如聖嬰現象 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)、年度乾旱、三月份寒害與暖冬等都可能造成荔枝減產 (圖 5) (行政院農業委員會，2022)，續分析歷年氣象資料與荔枝產量之相關性，荔枝產量與 5 月份平均溫度呈負相關，並隨前一年 12 月份降雨量增加而增加，然雨量高過臨界值 (約 60mm) 時產量則開始趨於平緩甚至減產。

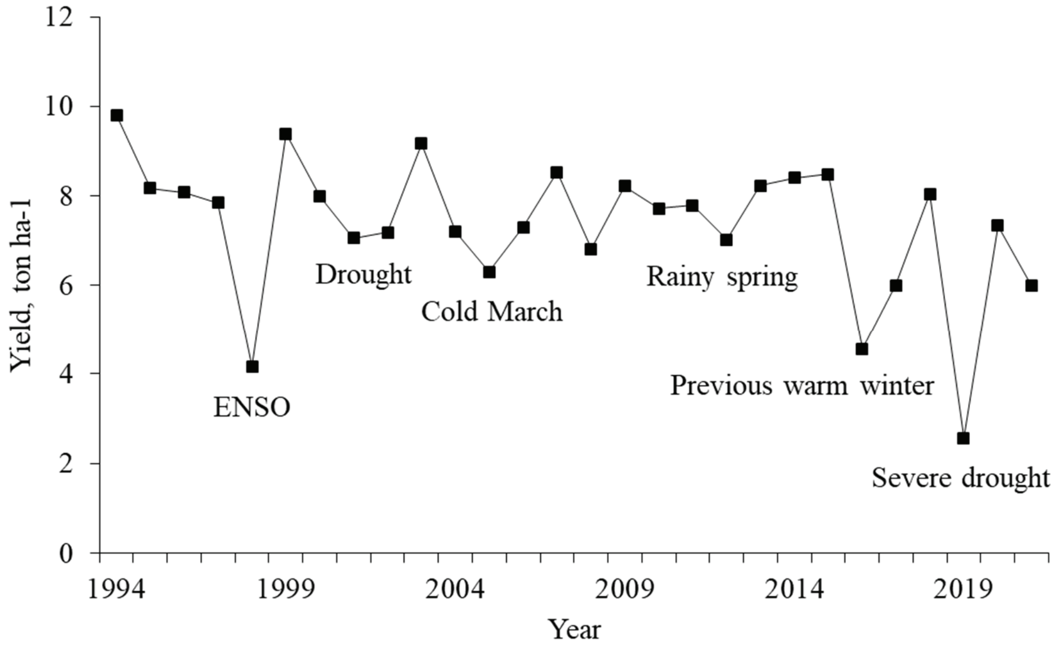

圖 5. 1994 年至 2021 年荔枝年平均產量與極端氣候事件變化圖

本研究亦應用長時間累積的長期生態研究資料，建立較大時空尺度的模擬及預測模型。如運用作物模式 DeNitrification-DeComposition (DNDC) 與 CERES-Rice 建立之水稻臺南 11 號參數，配合科技部「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 TCCIP」提供之 IPCC RCP8.5 下之 6 種模式 (bcc-csm1-1、CCSM4、HadGEM2-AO、MIROC-

ESM、MRI-CGCM3 與 NorESM1-M)降尺度之 5km*5km 網格氣象資料，以及全臺土壤質地網格進行 2025-2060 年之產量模擬。以 LTER 及其他多處之長期試驗資料進行模式之參數校正與未來氣候條件下之模擬，結果顯示水稻臺南 11 號產量於 2030 年、2040 年與 2050 年之變化，全臺各區域皆有逐年減少之趨勢 (圖 6)，南部地區於五月底開花期結束開始充實，隨氣候變遷加劇，五月份熱浪頻度加劇，可能增加水稻充實不均勻以致減產。

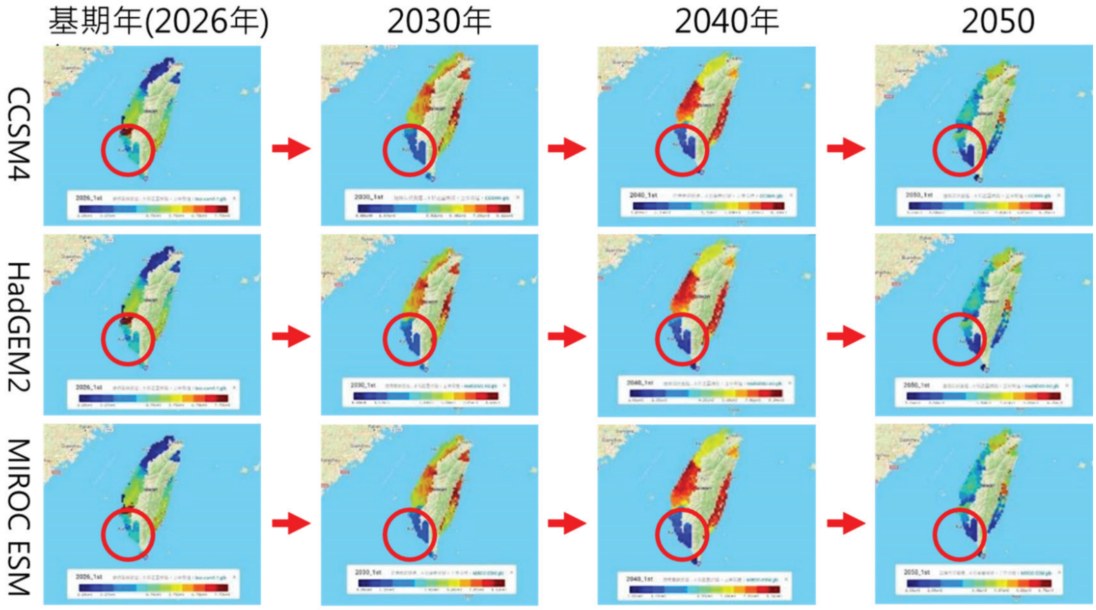

圖 6. 運用模式進行不同氣候變遷情境下全臺水稻臺南 11 號產量變化，顯示在南部地區水稻產量減產程度最劇

以 6 年期的於嘉義分所「玉荷包」荔枝監測資料所建構的花穗萌發模型，經比較 1980 年代起的歷史資料與 2025 年後代表濃度途徑 Representative Concentration Pathways (RCPs)，於 28 種溫度模型南部產區分析結果顯示無論採用 RCP8.5 或者 RCP4.5，在 2050 年前後、高雄以南產區均出現因升溫而使「玉荷包」無法開花警訊 (圖 7) (Chang *et al*., unpublished data)。由於「玉荷包」荔枝為涼溫需求性較低的早花型品種，並且為我國商業生產的南界指標，因此無法開花意味著影響產業發展，將可能造成產區瓦解、北遷或是產業結構改變、區域性凋敝等現象發生。

第三階段

第三階段目標為「農業生態系服務價值評估及區域參與」，旨在自供給、支持、調節與文化等市場與非市場方面盤點和評估農業生態系多功能價值，以供研擬農業環境給付措施之參考。並透過盤點農業長期生態研究導向農業永續發展，以建構可持續的生產環境及生態系統。

國際糧食組織(FAO)在食物及農業永續的 5 大原則：(1) 增加生產量值、就業及食物供應系統中的附加價值、(2) 保護與加強自然資源附加價值、(3) 改善生計及促進經濟成長、(4) 加強人類、社群及生態系統的韌性、(5) 調適面對新挑戰的管理。聯合國於永續發展目標指標 2.4.1 評估朝向生產與永續農業的進程，該指標包含 3 構面及 11 項子項

指標，分別是：經濟構面－土地生產力、收益與韌性；環境構面－土壤健康、水資源利用、肥料污染風險、農藥風險與生物多樣性；社會構面－尊嚴勞動、糧食安全與土地保有。

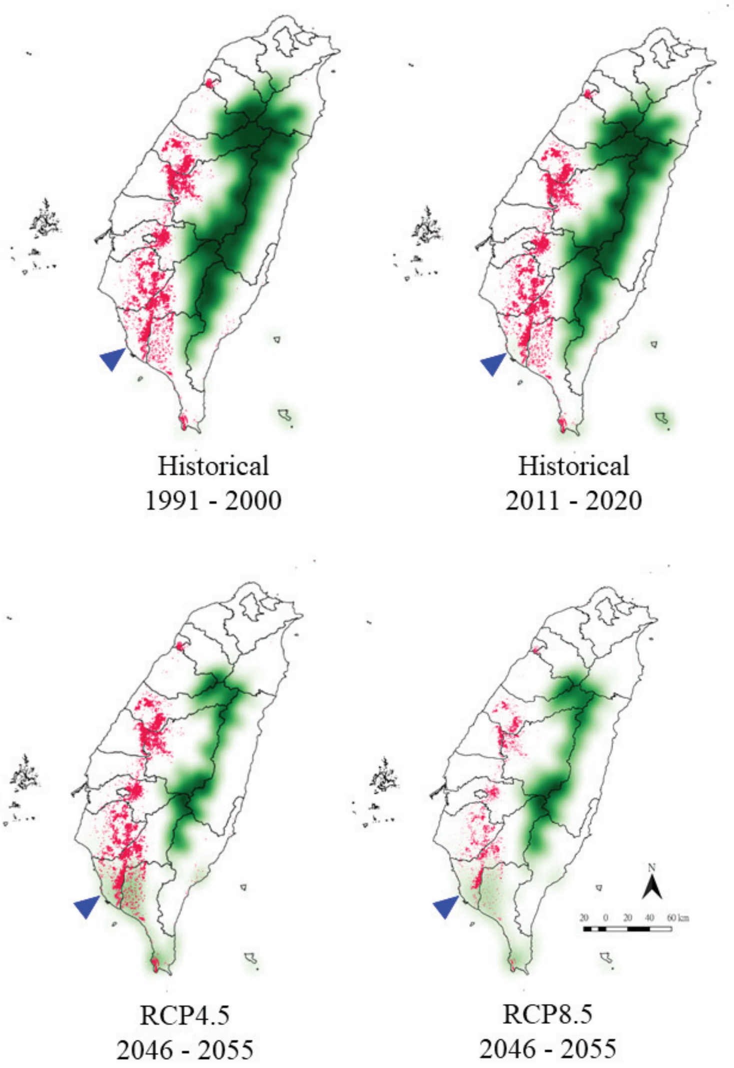

圖 7. 歷史資料與模式預測「玉荷包」未能開花區域(綠色)及既有荔枝產區(洋紅色)分布情形。藍色箭頭指出「玉荷包」核心產區高雄市的位置

就聯合國永續發展目標指標 2.4.1 進行核心站與衛星站指標評估，初步結果顯示各試驗站土地生產力、收益、土壤健康、肥料污染風險、糧食安全與土地保有達成率高，可持續進行以達永續；農藥風險與生物多樣性部份達成率低，需設法強化之；水資源利用與尊嚴勞動部份由於門檻值偏低易達成，需依臺灣現況調整之；韌性指標係因多年生果樹無法與其它作物輪作，以及農業保險尚未普及至各作物，以致門檻值偏高不易達成，亦需依臺灣現況調整之 (圖 8)。

2015 年召開之聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第 21 屆締約國會議提出《巴黎協定》，協議在本世紀較工業時代前控制升溫於 2 ℃以內，並儘量維持在 1.5℃以下，

以降低氣候變遷的風險和影響。2021 年在英國格拉斯哥舉行的聯合國氣候變遷大會第 26 次締約方會議(COP26)《格拉斯哥氣候公約》，各國重申對《巴黎協定》目標並意識到氣候變遷問題急迫，需在 2030 年時減少與 2010 年相比 45%溫室氣體排放，將升溫控制在 1.5℃，以在本世紀中達成淨零排放目標。在此背景，我國在 2022 年 4 月於行政院會通過《氣候變遷因應法》修正草案，並將 2050 年淨零排放目標入法。增進土壤碳匯係已知可緩減氣候變化的有效方法，根據「千分之四倡議：土壤促進糧食安全和氣候」要旨，每年在全球土壤增加 0.4%有機質儲量每年，將可以補償全球石化燃料帶來的溫室氣體排放。不同農業環境與農事操作均影響土壤有機碳增匯效益，農業生態系長期研究提供長期監測資料以進行模式模擬，以評估不同農法對土壤碳匯的影響及其潛量 (圖 9)。

指標	溪口農場					雲林分場				嘉義分所		古坑農場		名間茶園	
	LL			LU		LL		LU							
	CA	SA	RCA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA	NE	CA	SA	CA	OA
1.1	🟢	🟢	🟢	🟡	🟡	🟢	🟢	🟡	🟡	🔴	🔴	🔴	🔴	🟢	🟢
1.2	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🔴	🔴	🟡	🟢	🟢
1.3	🔴	🔴	🔴	🟡	🟡	🔴	🔴	🟡	🟡	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴	🔴
2.1	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
2.2	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🔴	🟡	🟡	🟢	🟢
2.3	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟡	🟡	🟡	🟢
2.4	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟡	🟢	🟢	🟡	🟡	🟡	🟢
2.5	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢	🟢
3.1	-	-	🟡	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	🟡	🟡
3.2	-	-	🟢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	🟢	🟢
3.3	-	-	🟢	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	🟢	🟢

圖 8. 以聯合國永續發展標 2.4 評估各研究站達各指標情形

指標說明：(1)經濟面向：1.1 土地生產力、1.2 收益及 1.3 韌性；(2)環境面向：2.1 土壤健康、2.2 水資源利用、2.3 肥料汙染風險、2.4 農藥風險與、2.5 生物多樣性；(3)社會面相：3.1 尊嚴勞動、3.2 糧食安全、3.3 土地保有。綠燈為合適的、黃燈為可接受的、紅燈則為不永續的

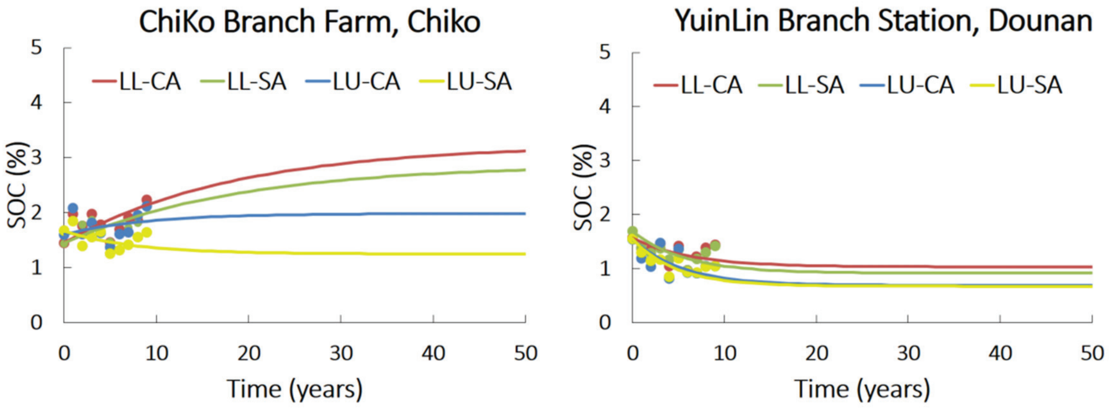

圖 9. 溪口農場(左)與雲林分場(右)在不同農事操下作土壤有機碳累積模型模擬結果

衛星站成果

產量比較

比較 LTER 衛星站不同農法產量，結果顯示在 2021-2022 年果樹單株產量部份，苗栗西湖與臺南麻豆文旦產量在慣行與有機間皆無顯著差異，高雄燕巢印度棗與臺東卑南釋迦在慣行農耕產量顯著高於有機農耕 ($p < 0.001$; $p < 0.001$) (圖 10)；另外在 2021-2022 年水稻單位面積產量部份，苗栗苑裡、臺東池上與花蓮富里水稻產量在慣行農耕產量顯著高於有機農耕 ($p < 0.05$; $p < 0.001$; $p < 0.001$) (圖 11)。衛星站之民間農友水稻監測站之不同農法的產量均達統計上之差異，與農試所溪口農場與台南場雲林分場之試驗結果不同，應與水稻品種與不同農友之施肥量差異大有關。

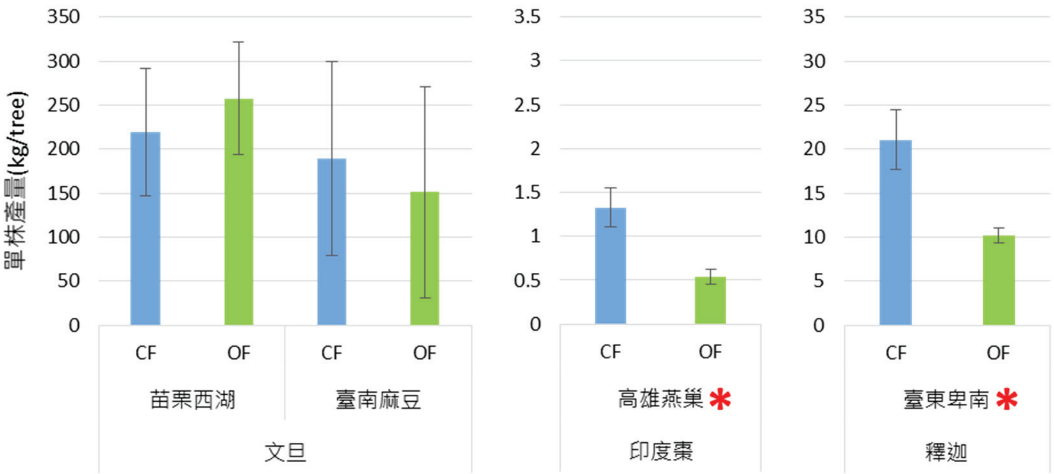

圖 10. LTER 衛星站不同農法之果樹單株產量；農法包含：慣行農耕 (CF) 與有機農耕 (OF)，*符號代表兩農法間有統計上的顯著差異 ($p<0.05$)

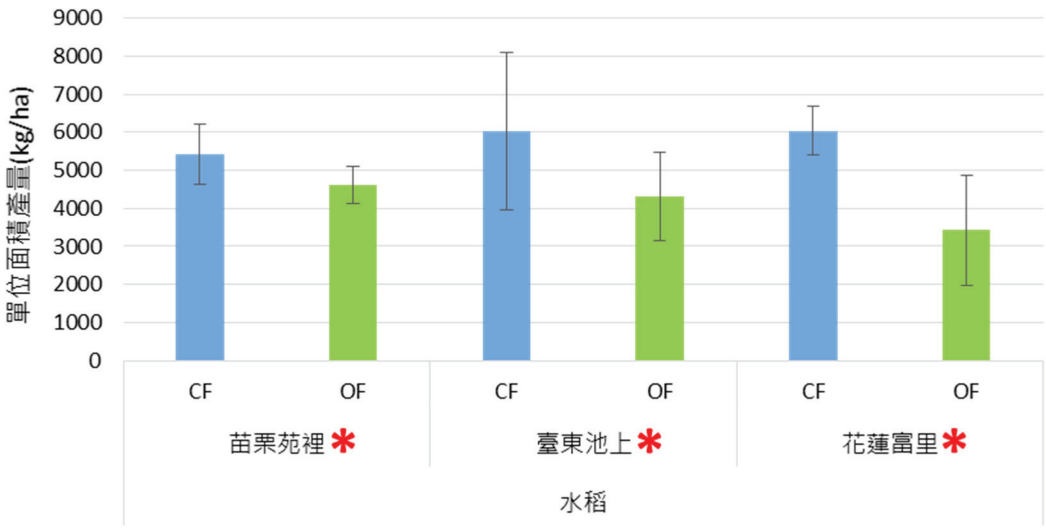

圖 11. LTER 衛星站不同農法之水稻單位面積產量；農法包含：慣行農耕 (CF) 與有機農耕 (OF)，*符號代表兩農法間有統計上的顯著差異 ($p<0.05$)

昆蟲調查

本研究自 2020 年 3 月至 2021 年 5 月，於 8 個陸域樣站，以掃網法共採獲昆蟲樣本達 13 萬件以上。2020 年 3 月至 11 月之樣本鑑定結果，臺東池上與花蓮富里水稻樣站，優勢昆蟲類群為雙翅目(優勢科級類群為搖蚊科、大蚊科、水蠅科、潛蠅科)與半翅目(優勢科級類群為葉蟬科與飛蝨科)，優勢天敵為蜘蛛類。比較慣行、友善與有機操作農法，以友善與有機農法所獲之蟲數大於慣行農法。新竹峨眉等 6 個果樹樣站，優勢昆蟲類群為雙翅目、半翅目及膜翅目，雙翅目優勢科級類群為果蠅科、水蠅科、稈蠅科、潛蠅科，半翅目以葉蟬科最優勢，膜翅目昆蟲數量，皆以有機農法大於慣行農法，其中又以蟻科數量最多。新竹峨眉、苗栗西湖與臺南麻豆樣站，所採獲之蟲數皆以有機農法大於慣行農法，臺東卑南與高雄燕巢樣站，總蟲數則以慣行農法大於有機農法(許等，2022)。綜觀掃網普查結果，顯示有機栽培水稻田與果園較慣行管理更能維護農業生態系中的昆蟲多樣性，且農業有益昆蟲(如授粉昆蟲、害蟲天敵與分解者)的數量，亦較慣行栽培環境多，提供生態系統自然調節力量。

以黃色黏蟲紙監測不同作物之特定目標昆蟲，臺東池上與花蓮富里水稻樣站，皆以第二期作出現較大量之電光葉蟬，臺東池上樣站之瓢蟲總數，友善與有機農法分別為慣行農法之 1.6 與 1.4 倍；花蓮富里樣站則以慣行農法高於友善與有機農法，分別為 1.3 與 1.4 倍。2 樣站優勢瓢蟲種類皆以橙瓢蟲 (*Micraspis discolor*) 數量最多，六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata*)次之。新竹峨眉等 3 個芸香科果樹樣站，開花期與中果期以薊馬數量最多，東方果實蠅則於中果期至採收期數量逐漸增加。3 個樣站之瓢蟲總數皆以有機農法高於慣行農法，優勢瓢蟲種類，在慣行農法果園均以臺南方瓢蟲數量最多，有機農法在新竹峨眉、苗栗西湖、臺南麻豆樣站分別以中黑小瓢蟲(*Scymnus centralis*)、變斑隱勢瓢蟲(*Cryptogonus orbiculus*)、六條瓢蟲(*C. sexmaculata*)數量最多。臺東卑南樣站，番荔枝果園葉蟎與捕植蟎在慣行田的數量分別是有機田的 11.3 倍與 7.8 倍。有機農法之瓢蟲數量為慣行農法之 2.2 倍，2 種操作農法之優勢瓢蟲均為臺南方瓢蟲 (*Sasajiscymnus tainanensis*)，在慣行農法操作區，臺南方瓢蟲(*S. taiwanensis*) 之數量，2021 年較 2020 年增加 6.1 倍；有機農法則增加 1.5 倍。高雄燕巢樣站，有機農法操作區之葉蟬類數量，為慣行農法之 16.7 倍；薊馬類數量則以慣行農法為有機農法之 25.8 倍。有機農法之瓢蟲類數量為慣行農法之 5.8 倍，2 種操作農法之優勢瓢蟲均以臺南方瓢蟲(*S. taiwanensis*)占比最高(許等，2022)。綜觀以黃色黏蟲紙監測不同作物之特定目標昆蟲調查結果，在有機田之瓢蟲天敵數量高於慣行田，而特定害蟲數量則低於高於慣行田，顯示有機田之自然調節力量優於慣行田。

蚯蚓調查

本研究於 2021 年 3 月至 10 月間，陸續於各生態監測站採集 152 個樣點，共採得 593 隻蚯蚓，初步以外觀形態挑出 150 個蚯蚓樣本，萃取全基因體核酸後，再以分子生物技術方法鑑定蚯蚓種類，利用線粒體細胞色素氧化酶 I 基因(mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I ,COI)、16S ribosomal RNA 基因(16SrRNA)基因和 18S ribosomal RNA(18S rRNA)基因可以對 131 個蚯蚓樣本，得到 12 屬 18 種的鑑定結果，大多數的種類屬於巨蚓科 (Megascolecidae)，有 11 個蚯蚓樣本只能鑑定至屬別，另有 8 個蚯蚓樣本無法以這三種基因得到明確的鑑定結果。在蚯蚓調查結果中，嘉義溪口的土後腔環蚓 (*Metaphire posthuma*)出現頻率極高，而且臺南麻豆也僅調查到單一物種土後腔環蚓，此物種已成為臺南麻豆和嘉義溪口的優勢種，其餘地區的蚯蚓種類則較多樣性，且具

有地緣物種特性，多為外來物種。臺灣特有種蚯蚓僅在苗栗西湖有調查到福爾摩沙腔環蚓(*M. formosae*)。比較慣行農耕、友善農法和有機農耕，這三種栽培方式對蚯蚓種類及數量並無明顯差異，反而是土壤性質與濕度會影響蚯蚓數量，例如屏東枋山的調查時間正逢缺水乾旱期，高溫與乾硬的土壤基質不適合蚯蚓生存，因此無蚯蚓可供調查(林等，2022a)。

兩棲、爬蟲與鳥類調查

農業擴張是生物多樣性流失的重要因素之一，近年來，為了改善農業環境狀況，並兼顧農業環境生產糧食及保育生物多樣性等多重價值，建立生物多樣性友善農業為推動新農業的重要研究題材。然而，台灣雖然推動十餘年的公民科學，累積大量生物時空分布資料，農業環境缺仍舊相當缺乏資料。為此，特生中心配合農業長期生態監測計畫，自 2021 年起於全國八處監測站(新竹峨嵋、苗栗西湖、臺南麻豆、高雄燕巢、屏東枋山、臺東卑南、臺東池上、及花蓮富里)以地圖描繪法執行鳥類、兩棲類、爬行類的監測工作，各站之田區皆包含至少一處慣行農法及有機農法。首年執行完畢，共記錄 112 種物種，4,075 筆紀錄，包含鳥類 103 種 2,825 筆紀錄、兩棲類 23 種 962 筆紀錄、以及爬行類 273 種 286 筆紀錄，另有哺乳類 2 種 2 筆紀錄。施行有機農法田區的兩棲類紀錄量顯著高於施行慣行農法的田區($p < 0.001$)，鳥類與爬行類的紀錄量則是有機田區顯著低於慣行田區($p < 0.001$; $p < 0.05$)。作物比較分析方面，鳥類於水稻田及番荔枝果園的紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$; $p < 0.001$)；兩棲類於水稻田紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$)；爬行類於水稻田及印度棗果園的紀錄筆數顯著高於其他作物($p < 0.001$; $p < 0.01$)。未來隨時間增加資料量，將以此資料系統建立個別物種族群趨勢並建立各類群之複合物種指標，用以反映農業環境的野生動物變化(林等，2022b)。

保育類生物保護

農業是兼具多元價值的載體，無論在糧食生產、生物多樣性保育、休憩娛樂及傳承傳統知識與文化，都具有無可取代的地位。在維持農業地景的同時，可能無形保育了重要的生物多樣性資源，如 2013 年獲得日本地區全球重要農業遺產系統(Globally Important Agricultural Heritage Systems, GIAHS)殊榮的 Chagusaba 系統，其獨特的日本靜岡地區茶園地景、傳統茶園-野草共生系統，以特定種類禾草的莖稈與葉片舖於茶園的獨有農業操作，強化保濕與保肥功能，改善了土壤環境，間接使茶的風味與香氣更加提升，並無形間保留了特定的稀有與瀕危植物種類(Inagaki, *et al*. 2010)；在臺灣，推行友善農法以促進保育類生物生存之案例亦日益受重視，透過綠色保育標章的頒布，可達到加值農產品與強化生物保育的雙贏局面，目前已有多種以農田為家的保育動物獲頒綠保標章，如臺南官田菱角田水雉(*Hydrophasianus chirurgus*)、臺北坪林淨源茶翡翠樹蛙(*Zhangixalus prasinatus*)、雲林古坑竹筍諸羅樹蛙(*Z. arvalis*)、南投埔里筊白筍臺灣白魚(*Pararasbora moltrechti*)等，透過農業生態盤點，更可進一步研擬生態給付，目前已納入生態給付的保育動物包括石虎(*Prionailurus bengalensis*)、水雉(*H. chirurgus*)、草鴞(*Tyto longimembris*)與歐亞水獺(*Lutra lutra*)等四種生物，但是否仍有更多生存在易受威脅的里山動物？透過農業長期生態監測與盤點，在維繫生產的同時，亦可提升農業的生態系服務及生物多樣性保育價值。

水產養殖水質監測

本研究運用自動化物聯網傳感器自動收集高雄市永安區及屏東縣枋寮鄉養殖漁村 4 處監測站水質即時資料，包括水溫、溶氧、酸鹼值(pH)、氧化還原電位(ORP)、鹽度，並以雲端攝影機持續收集現場影像，另定期彙整鄰近地區氣象資料，以供極端天氣發生時進行追溯分析。在溶氧監測過程發現溶氧具有日周期性，且深受日照、降雨等天氣影響，另除枋寮轉型監測站外，其他測站數據受生物附著影響甚鉅，建議未來可開發電極自體清潔之方式，減少人力成本及數據誤差；在水溫監測方面，高屏地區氣溫相近，測站平均水溫差異不大，枋寮因引入較低溫之地下水，水溫相對較低，永安轉型測站雖引入較低溫的 LNG 冷排水，但因換水量不大且電極深度較淺，受日照及溫度分層影響，水溫並無明顯較低；酸鹼值監測方面，各監測站雖有日變化週期，但平均來看皆維持在 7.5-8 之間，對養殖生物來說較為穩定安全；氧化還原電位監測方面，除移魚等人為操作擾動水體導致急降以外，各監測站平均值皆落在 350-450 mv 等安全範圍內；鹽度監測方面，除連續降雨或長時間日照蒸發作用會導致鹽度變動較大以外，主要以水源鹽度為變動主因，由於枋寮地區養殖之午仔魚較具廣鹽性，引入地下淡水與海水混合後使鹽度平均偏低；在雲端攝影機監控方面，可透過遠端視訊功能查閱天氣狀況(如陰雨)、機械運轉(水車啟動)及現場環境變化，做為養殖管理與追溯分析參考；設置現場水質資訊看板可供管理人員即時瞭解水質狀況，並作為教材結合社區生態導覽，推廣養殖智慧化、科學化等觀念予從業人員或社會大眾。在長期且即時的監測下，可幫助漁民保持良好的養殖水質環境，預防各類疾病發生，配合益生菌及友善養殖方式，將可減少甚至摒棄抗生素等藥物投放，避免禁藥檢出影響出口外銷貿易而造成經濟損失之風險。長期資料之累積與分析亦可作為未來預警減災系統之科學依據(許&吳，2022)。

提供研究平台進行跨領域合作

提供研究平台

農業生態系長期研究監測站開放農業試驗研究單位、大專院校或國內外其他研究機構或團體參與各項研究工作規劃及執行(表 1、表 2)，以增進監測站使用效益及成果產出。

參與國際合作計畫

1. 提供資料分享，國內外合作計畫如下：(1) 以色列特拉維夫大學沙漠型氣候與亞熱帶濕潤型氣候之土壤游離線蟲比較；(2) 美國新罕布希爾大學 DNDC 作物生長模式建立與本土化測試；(3) 美國農部(Agricultural Research Service, ARS)作物模式之建立與本土化測試；(4) 日本北海道大學國際長期生態研究網-氮素倡議(ILTER-N Initiative)；(5) 英國劍橋大學氮素滲漏與循環；(6) 歐洲長期社會生態學研究(Long Term Socio-Ecological Research Platforms, LTSER)之理論架構應用；(7) 中興大學環境工程學系溫室氣體量測；(8) 農業試驗所農業氣象諮詢系統等；(9) 美國 ClimDB 氣象與水文資訊網；(10) 東華大學臺灣兩棲類保育網；(11) 環保署溫室氣體清冊等。
2. 執行國際長期生態研究網(ILTER)、生物多樣性與氮素循環相關之國際合作計畫：
   (1) 參與國際長期生態研究網氮素倡議計畫之全球凋落物分解試驗(Global Litter Decomposition Study)，與全球 50 個國家共計 459 個長期生態試驗站同步埋設規

格一致之茶包，預計每年進行開挖部份茶包並量測其乾重，以得知凋落物在全球不同生態系統之分解速率，進而評估其對土壤之碳氮循環之影響。(Djukic *et al.*, 2018; Kwon, *et al.*, 2021)

(2) 參與長期社會生態學研究(LTSER)之理論架構應用，在全世界 25 個研究區域，歸納出各個研究區針對長期社會生態學研究所蒐集的研究變項，包括生態系與社會系統間的互動，進而透過整合式的方法進行多尺度的長期監測與分析研究，同時強調區域研究對象的特色、時/空間尺度、權益關係者的背景等。(Dick *et al.*, 2018)

表 1. 過去參與國科會/科技部整合型計畫列表

整合型計畫名稱	主持人	計畫執行期程
農地土壤施用肥料與農藥對環境生態之影響及因應策略研究	中興大學 楊秋忠教授	2007.08.01-2010.07.31
慣行農耕及永續農耕農業生態系統服務之評估及因應策略	中興大學 楊秋忠教授	2011.08.01-2013.07.31
研析臺灣農業生態系服務最佳化策略	中興大學 林幸助教授	2015.08.01-2017.07.31
以生態系服務觀點探討氣候變遷下水稻田的永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2017.08.01-2018.07.31
以生態系服務觀點探討氣候變遷下水稻田的關聯群集及永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2018.08.01-2019.07.31
氣候變遷下水稻田生態系服務的永續策略	中興大學 楊曼妙教授	2019.08.01-2020.07.31
水稻田生態系服務價值評估與永續策略	中興大學 林幸助教授	2020.08.01-2021.07.31
建立水稻田永續發展之生態系服務給付架構	中興大學 林幸助教授	2021.08.01-2022.07.31
臺灣坡地茶園之社會、環境與生態永續策略	中興大學 柳婉郁教授	2021.05.01-2023.04.30

(3)以臺灣農業長期生態研究資料為基礎，加入瑞典赫爾辛基大學 Otso Ovaskainen 教授主導之 LifePlan 計畫，擬探究全球 100 組都市與郊區樣站進行特定生物多樣性類群之變遷，包括生態聲景調查、紅外線動物影像監測、昆蟲相普查與外生菌根研究等，期可建立全球生物多樣性的現狀，並對未來情況下之生物多樣性做出準確的預測，並提供保育熱點。(Chen *et al.*, 2022)

(4) 以臺灣農田甲烷排放研究資料為基礎，與美國史丹佛大學 Zutao Ouyang 博士主導之全球農田溫室氣體排放計畫，擬探究全球不同類型農田之溫室氣體排放並尋求降排之關鍵技術，期可應用於季風亞洲區預估水稻田溫室氣體甲烷之排放量，並藉此作為合理修正農事操作之依據，以達到溫室氣體減排與減緩氣候變遷之積極作為。(Ouyang *et al*., 2023)

舉辦國際研討會

舉辦相關國際研討會，促進學術交流：

1. 於 2017 年主辦「International Workshop on N_2O Emissions in Various Ecosystems: Site-Based Research and Global Synthesis」國際研討會，共邀請 10 國 19 位專家發表專題演講、研討及研究海報展示與實地參訪，國內農業相關單位及校、院系所亦有 30 餘位學者、專家，共計超過 100 位的官、學、研代表與會參加，於會議後建立國際工作小組，進行文獻的回顧與整理，更新在以 ILTER 實驗點為基準的 N2O 排放監測，並與國際之測量方式進行綜合性討論。
2. 於 2018 年接受國際長期生態研究網 (ILTER) 與東亞太平洋區域網 (ILTER-EAP)之授權，在臺灣主辦「2018 ILTER & 12th ILTER-EAP Joint Conference」，會議主題為「自然與人為地景下的生態系回復力」，共有超過 25 個國家的學者，與會人數共計 222 人，並發表 125 篇論文與海報。透過本次 ILTER 年會之交流，擬建立東亞太平洋大數據整合平台，進行永續議題的區域性相關研究。

未來研究方向

擴展至長期社會生態研究(LTSER)

在社會生態系中，權益關係人實為涉及生態系程序運作與發展的重要資本，權益關係人參與共分成 3 個階段、8 個階層(Arnstein, 1969; Church *et al*., 2019)：(1) 未參與：操作(manipulation)、治療(therapy)；(2) 表面參與：告知 (informing)、諮詢 (consulting)、勸解(placation)；以及(3) 公民權力：夥伴關係 (partnership)、委託授權(delegated power)、公民主控 (citizen control)，在既有農業生態系長期研究，除名間茶園監測站因屬與生產者共同建立與維持故為基於夥伴關係建立研究工作，其餘多屬於未參與或表面參與。相對地，政府站在服務者角度與民眾良性互動、尊重其知的權利俾提供參與管道，融合社會科學與公民參與的社會生態研究為增進權益關係人對提高環境政策會農業永續接受度提供良好的契機(Gaba & Bretagnolle, 2020)。

表 2. 過去參與國際合作計畫列表

國際合作項目	合作對象	合作期程
International Long- Term Ecological Research Network	美國 ILTER	2006 屹今
Information Management	美國 KNB 美國維吉尼亞大學 美國新墨西哥大學	2006 屹今
DNDC 應用於臺灣水稻生產模擬	美國 N.H.U.	2013-2015
氣候變遷之作物反應評估與減排調適策略研擬	美國 ARS	2015 屹今
Global Litter Decomposition Study	奧地利	2016-2021
Implementation plan of ILTER-Nitrogen Initiative	日本北海道大學	2017 屹今
4 per 1000 Initiative	法國	2017 屹今
Long-Term Socio-Ecological Research Platforms	英國 UKCEH	2018
Eco-Bank	南韓生態研究所	2019 屹今
Establish of Methane Emission Model	英國劍橋大學	2020 屹今
Lifeplan: A Planetary Inventory of Life	芬蘭赫爾辛基大學	2021 屹今

Bretagnolle *et al.* (2019) 揭櫫在農業生態系長期研究的架構下社會生態系 (Social Ecological System, SES)對農業生態系長期研究 (LTER) 網絡至少帶來 5 種變化：(1) 科學家在長期社會生態研究(LTSER)重視在 LTER 較少涉及的人為干擾；(2) 加入社會學元素後使生態系統複雜度大福提升；(3) 社會科學與生態學/自然科學交流使得產生可辨識別的新議題；(4) 科學家在長期社會生態研究 (LTSER) 中的角色轉換將感知議題轉移至為能在生態系中造成影響的權益關係人帶來知識；(5) 在 LTSER，管理行動代表著對政策或措施的驗證與學習。

影響生態系統運作的不僅只是生態服務的輸出，如同前敘歐盟在農業生態系經營思維包含社會組成本身。Bretagnolle *et al.* (2019) 認為社會生態系乃是耦合在生態系服務與調適管理，調適管理結合研究人員與相關參與者的合作推動實驗與學習，在合作行動、衝突解決、自然資源利用與生態系管理共同提出對策。因此本計畫擬基於既有長期生態研究所識別的自然科學議題，再加入社會科學觀點與權益關係人參與，轉型

為長期社會生態系研究 (LTSER) 始能發揮實質的生態系統管理。

第 4 期目標

配合近期研究經費的整合，第 4 期目標擬定為「運用資訊科技導入社會經濟驅動力，復育農業生態系統、推動自然正成長」。期能發展農業生態系及生物多樣性指標監測與評估方法，並運用所建立指標建立項預警風險或預測其發展趨勢，亦於不同操作類型之農業生態系，結合權益關係人參與改善各項指標。

結語

農業是兼具多元價值的載體，無論在糧食生產、生物多樣性保育、休憩娛樂及傳承傳統知識與文化，都具有無可取代的地位。農業環境不僅是糧食生產的源頭，同時也是許多野生動植物的重要棲地，形成人與自然共生的農業生態系，產生農業生態系獨特的生態系服務。然而，隨著全球環境變遷，人類正同時面臨氣候變遷、糧食短缺及生物多樣性流失等衝擊，農業長期生態研究之跨領域資訊整合應用與擴散，期能為舉世關注的議題產生新知與影響力，建立新時代的農業典範，提出全球環境變遷調適策略，以維繫農業生產，同時提升農業生態系服務及生物多樣性保育價值。

參考文獻

1. 行政院農業委員會。2022。農業統計資料動態查詢，https://agrstat.coa.gov.tw/ sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx (查詢日期 2023 年 4 月 27 日)。
2. 林大利、林湧倫、杜昀珊。2022b。鳥類、兩棲類與爬行類類群多樣性。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 61-71。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
3. 林芳妘、陳淑娟、林麗淑、謝玉貞。2022a。農業環境蚯蚓多樣性調查研究。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 50-60。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
4. 許北辰、董耀仁、石憲宗、李奇峯、曾美容、陳淑佩、李啟陽、許育慈、林立、陳泰元、劉東憲、莊國鴻、陳盈丞。2022。農業生態系長期昆蟲普查。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 9-29。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。
5. 許自研、吳豐成。2022。高屏地區養殖漁村水池水質長期監測初探。2022 年農業生態系長期生態研討會專刊。pp. 72-87。8/26-27。西湖鄉農特產品展售綜合活動中心，苗栗。ISBN 978-626-7100-85-0
6. 詹岳魁、陳琦玲、吳泓書、林晉卿、侯平君、姚銘輝、許禎坤、陳建文、林朝欽。2012。農業生態系長期研究場址無線感測器網路建置。臺灣農業研究 61(4): 271-286。
7. Arnstein, S.R. A ladder of citizen participation. Journal of the American Institute of planners (1969), 35(4), 216-224.
8. Bretagnolle, V.; Benoît, M.; Bonnefond, M.; Breton, V.; Church, J.; Gaba, S.; Gilbert, D.; Gillet, F.; Glatron, S.; Guerbois, C.; Lamouroux, N.; Lebouvier, M.; Mazé, C.; Mouchel, J.

M.; Ouin, A.; Pays, O.; Piscart, C.; Ragueneau, O.; Servain, S.; Spiegelberger, T.; & Fritz, H. Action-orientated research and framework: insights from the French long-term social-ecological research network. Ecology and Society (2019), 24(3), 10.

9. Chan, Y.K.; Hu, J.H.; Chou, C.Y.; Liao, C.Y.; & Chen, C.L. Development of ICT for Leaching Monitoring in Taiwan Agricultural LTER stations. Environments (2017), 4(3), 47-60. DOI:10.3390/environments4030047
10. Chen, C.L.; Chang, J.Y.; Tsai, J.K.; Wu, S.Y.; & Hu, J.H. Sampling team of the month: ChiayiCity, Taiwan. LIFEPLAN Newsletter May 2022 (2022) (Online newsletter).
11. Chiu, M.C.; Chen, C.L.; Chen, C.W.; & Lin H.J. Weather fluctuation can override the effects of integrated nutrient management on fungal disease incidence in the rice fields in Taiwan. Scientific Reports (2022), 12(1), 4273. https://doi.org/10.1038/s41598-022-08139-7
12. Church, J.M.; Aimont, O.; Guillon, E.; Helder, R.; Lévy, G.; Taborelli, P.; & Grosbellet, J. The project of a LTSER site Driven by civil society in the Argonne. Sustainability Research in the Upper Rhine Region (2019), Presses universitaires de Strasbourg, ffhal-02377151v2
13. Djukic I.; Kepfer-Rojas S.; Schmidt I.K.; Larsen K.S.; Beier C.; Berg B.; Verheyen K.; & TeaComposition. Early stage litter decomposition across biomes. Science of the Total Environment (2018), 628-629, 1369-1394. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.012
14. Dick J.; Orenstein D.; Holzer J.; Wohner C.; Achard A. L.; Andrews C.; Avriel-Avni N.; Beja P.; Blond N.; Cabello J.; Chen C. L.; Díaz-Delgado R.; Giannakis G.; Gingrich S.; Izakovicova Z.; Krauze K.; Lamouroux N.; Leca S.; Melecis V.; Miklós K.; Mimikou M.; Niedrist G.; Piscart C.; Postolache C.; Psomas A.; Santos-Reis M.; Tappeiner U.; Vanderbilt K.; Van Ryckegem G. What is socio-ecological research delivering? A literature survey across 25 international LTSER platforms. Science of the Total Environment (2018), 622-623, 1225-1240. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.324
15. Gaba, S.; & Bretagnolle, V. Social–ecological experiments to foster agroecological transition. People and Nature (2020), 2(2), 317-327.
16. Hadgu, K.M.H.; Rossing, W.A.H.; Kooistra, L.; & van Bruggen, H.C. Spatial variation in biodiversity, soil degradation and productivity in agricultural landscapes in the highlands of Tigray, northern Ethiopia. Food Security (2009), 1: 83-97.
17. Inagaki, H.; Kusumoto, Y.; Iwasaki, N.; Iwasaki, S.; & Yamamoto, S. Biodiversity evaluation of 'CHAGUSABA'; semi-natural grassland maintained by green tea cultivation. Proceeding of the 4th International Conference on O-CHA (Tea) Culture and Science (2010). 38-41.
18. Kwon, T.; Shibata, H.; Kepfer-Rojas, S.; Schmidt, I. K.; Larsen, K. S.; Beier, C.; Berg, B.; Verheyen, K.; Lamarque, J. F.; Hagedorn, F.; Eisenhauer, N.; Djukic, I.; TeaComposition. Effects of Climate and Atmospheric Nitrogen Deposition on Early to Mid-Term Stage Litter Decomposition across Biomes. Frontiers in Forests and Global Change (2021), 1-18. https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.678480
19. Michener, W.K.; Brunt, J.W.; Helly, J.J.; Kirchner, T.B.; & Stafford, S.G. Nongeospatial metadata for the ecological sciences. Ecological Applications (1997), 7(1), 330-342.
20. Ouyang, Z.; Jackson, R.B.; McNicol, G.; Fluet-Chouinard, E.; Runkle, B.R.K.; Papale, D.; Knox, S.H.; Cooley, S.; Delwiche, K.B.; Feron, S.; Irvin, J.A.; Malhotra, A.; Muddasir, M.; Sabbatini, S.; Alberto, M.C.R.; Cescatti, A.; Chen, C.L.; Dong, J.; Fong, B.N.; Guo, H.; Hao, L.; Iwata, H.; Jia, Q.; Ju, W.; Kang, M.; Li, H.; Kim, J.; Reba, M.L.; Nayak, A.K.; Roberti, D.R.; Ryu, Y.; Swain, C.K.; Tsuang, B.; Xiao, X.; Yuan, W.; Zhang, G.; & Zhang,

Y. Paddy rice methane emissions across Monsoon Asia. Remote Sensing of Environment (2023), 284, 113335. https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113335

21. Peterseil, J.; Magagna, B.; Wohner, C.; Oggioni, A.; & Watkins, J. D3. 3 Data Models. eLTER (2018). DOI: 10.13140/RG.2.2.11386.95689.
22. Picasso, V.D.; Brummer, E.C.; Liebman, M.; Dixon, P.M.; & Wilsey, B.J. Crop species diversity affects productivity and weed suppression in perennial polycultures under two management strategies. Crop Sci (2008), 48, 331-342.
23. Tilman D.; Wedin, D.; & Knops, J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature (1996), 379, 718-720.
24. Tsai, J.K.; & Chen C.L. Taiwan Agricultural Ecosystem Plant Investigation Methodology for Evaluating Agricultural Ecosystem Services. Proceedings of the National Institute of Ecology of the Republic of Korea (PNIE) (2022), 3(1), 1-6. https://doi.org/10.22920/PNIE.2022.3.1.1

Review and Perspective of Long Term Ecological Research on Agricultural Ecosystem in Taiwan

Jenn-Kuo Tsai [1], Chiling Chen [1]*, JenYu Chang [1], Hsien-Tzung Shih [1], Ai-Hua Yang [2], Rei-Chang Wang [2], Dah-Jing Liao [3], Jer-Way Chang [3], Yu-Cheng Ko [3], Ju-Hung Lin [4], Su-Jein Chang [5], Hsin-Yi Jen [5], Kuo-Hung Chuang [6], Chong-Yi Liao [7],Ya-Wen Kuo [7], Chia-Chih Chang [8], Chia-Chen Pan [9], Tai-Yuan Chen [10], Li Lin [11], Chi-Chung Chang [12], Tzu-Yen Hsu [13], Da-Li Lin [14]and Yu-Chen Hsieh [15]

1 Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Council of Agriculture, Executive Yuan
2 Yuinlin Branch Station, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan, Executive Yuan
3 Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
4 Tea Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
5 Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
6 Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
7 Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
8 Puli Branch Station, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
9 Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
10 Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
11 Hualian District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
12 Taitung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan
13 Tungkang Biotechnology Research Center, Fisheries Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
14 Endemic Species Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
15 Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan
*Correspondence: Chiling@tari.gov.com

Abstract

Taiwan has been conducting long-term ecological research (LTER) on natural ecosystems since 1992. In 2006, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), together with Tainan District Agricultural Research and Extension Station (TNDAIS), Miaoli District Agricultural Research and Extension Station (MDAIS) and Tea Research and Extension Station (TRES), began the research on agroecosystems and established six research sites successively in central Taiwan. LTER collects long-term interdisciplinary data across spaces to understand the structure, composition, and interactions of ecosystems. The overall goal of the project is to understand the impact of environmental changes on ecosystem service functions through long-term observations and to investigate whether eco-friendly agricultural practices can reduce the use of agrochemicals in subtropical cropping systems. To showcase the results of the project, a short-term goal is set every six years. The first phase (2006-2011) studies the impact of different agricultural practices on the productivity maintenance and biodiversity of ecological systems under different cultivation systems, as well as their risk to the environment, to explore better agricultural management models. The second phase (2012-2017) focuses on observing the long-term impact of climate change on crop production, pest and predator populations, disease incidence and weed changes, so as to devise possible adaptation strategies. The third phase (2018-2023) aims to enumerate and evaluate the multifunctional values of agroecosystems from market and non-market perspectives such as supply, support, regulation, and culture, to provide a reference for developing agricultural environmental payment measures. To enable data reuse, prolong data available-time and enhance data value, the data obtained from this research are

documented using the Ecological Metadata Language (EML) file by Morpho software and stored in the Metacat ecological database to facilitate information exchange, thus participating in multiple international cooperation projects to improve research capacity and quality and connects Taiwan to the international community. Since 2020, TARI has expanded ten monitoring sites throughout Taiwan in collaboration with Fisheries Research Institute and Agricultural Research and Extension Stations in various districts, including two aquaculture sites and eight agricultural sites, to conduct ecological monitoring of water quality and rural farming areas and observe the impact of different agricultural practices and climate change on the ecosystem, with the goal of achieving precise management of pest control and fertilization. Additionally, participatory research involving agricultural and fishing communities is attempted aiming to increase producers' awareness and practice of ecology and the environment, reducing the impact of agricultural production on ecosystem service functions. Currently, Taiwan's agricultural LTER still leans towards natural sciences, but social sciences research will be increasingly incorporated. The fourth phase (2024-2019) aims to induce information technology for socioeconomic driver to restore agro-ecosystems and promote nature positive. Long-Term Social Ecological Research (LTSER) will be conducted to explore the interaction between natural ecological environments and communities.

Keywords: Agricultural Ecosystem, Long-Term Ecological Research, Subtropical, Service function